Aus dem Forschungsinstitut Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Badgastein, Mitteilung Nr. 322

Krenobiologische Untersuchungen an der Gasteiner Therme[1]

I. Die Schwefelbakterien des Allophan-Hydrogels

Von VALE VOUK (Zagreb) †, ZORA KLAS (Zagreb) und FERDINAND SCHEMINZKY (Innsbruck — Badgastein)

Mit 3 Tabellen, 1 Abbildung und 8 Tafeln

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. April 1967)

Die meistens im Inneren von Stollen oder geschlossenen Quellfassungen liegenden Gasteiner Thermalwasseraustritte sind biologisch in erster Linie durch eine — in hygienischer Hinsicht völlig harmlose — Bakterienflora ganz eigener Art gekennzeichnet, durch welche sie nach der Meinung des Begründers der Krenobiologie[1], V. VOUK (1), ,,an die erste Stelle unter den Thermalquellen vorrücken". Es handelt sich dabei um Eisen, Mangan und Schwefel abscheidende Mikroorganismen, welche im strömenden Thermalwasser bei Temperaturen um 36 bis 48° C leben und z. T. auch — wie die Eisen- und Manganbakterien — für das Vorhandensein des wesentlichsten Heilfaktors in der Gasteiner Therme, des Radons, eine ursächliche Bedeutung haben; möglicherweise finden sich unter diesen Mikroorganismen auch neue, bisher noch unbekannte Formen. V. VOUK und der eine von uns (Sch.) haben sich seit 1951 mit dem Studium dieser Mikroorganismen beschäftigt; das 1962 erfolgte Hinscheiden von V. VOUK verhinderte die noch ausstehende Auswertung der Untersuchungsbefunde. Wir haben es nun unternommen, aus dem wissenschaftlichen Nachlaß von V. VOUK die bisherigen Befunde zu rekonstruieren und durch eigene Untersuchungen zu vervollständigen[2].

[1] Wir verwenden die Bezeichnung ,,krenobiologische", statt wie sonst üblich ,,balneobiologische" Untersuchungen, da mit der Entwicklung der Bäderwirtschaft und Bäderwissenschaft immer mehr Wortverbindungen mit ,,balneo-" im Hinblick auf die Nutzung von Quellen für Heilzwecke zustandegekommen sind (Balneographie, Balneotechnik, Balneoreaktion, Balneotherapie usw.); die quellbiologische Untersuchung kann zwar in verschiedenster Hinsicht wertvolle Anhaltspunkte liefern, läßt aber — zumindest derzeit — noch keine Schlußfolgerungen auf Heileffekte zu.

[2] Bei unseren Untersuchungen wurden wir von Med. techn. Assistentin Frl. T. PRANTNER durch Hilfe bei der Einsammlung des Materiales, der Herstellung von Präparaten, Kontrolluntersuchungen und Anfertigung von Mikrophotographien tatkräftigst unterstützt; für diese Hilfe möchten wir an dieser Stelle unseren ganz besonderen Dank aussprechen.

An den Gasteiner Quellaustritten finden sich Mikroorganismen nach SCHEMINZKY und MÜLLER (2) vor allem in zwei verschiedenartigen Thermalwasserabsätzen: im „Eisenrasen" (Mangan-Eisenrasen) nach VOUK (1), einer braunen Abscheidung von Mangan- und Eisenoxydhydraten — welche bereits von HAIDINGER (3) unter dem Mineralnamen „Reissacherit" bekanntgemacht worden war — und in einer durchsichtigen bis porzellanweißen gallertigen Kieselsäureabscheidung (Silikatrasen), welche wir nach der chemischen Zusammensetzung jetzt Allophan-Schwefel-Hydrogel nennen (vgl. später). Der Mangan-Eisenrasen bildet sich an allen Thermalwasseraustritten, das Allophan-Schwefel-Hydrogel dagegen nur an einigen, vor allem im Stollen der Quelle I-Franz-Joseph-Quelle; in beiden Absätzen dominieren Bakterien. Zu diesen kommen dann noch Blau- und Grünalgen hinzu, die sich allerdings nur noch an jenen, heute bloß spärlich vorhandenen Stellen entwickeln können, an denen Thermalwasseraustritte noch nicht gänzlich vom Lichtzutritt abgeschlossen sind. Über die Algenvegetation an der Gasteiner Therme hat V. VOUK bereits berichtet (4, 5); eigene Untersuchungen konnten dazu aber noch manche Ergänzungen bringen.

Aus unserem reichen Befundmaterial wird hier nur über das Allophan-Schwefel-Hydrogel und dessen Schwefelbakterien berichtet; spätere Mitteilungen sollen sich mit den Eisen- und Mangan-Organismen sowie mit der Algenvegetation befassen.

1. Charakterisierung der Gasteiner Therme

Die Gasteiner Therme kommt mit mehr als 80 Einzelaustritten aus gewachsenem Fels oder aus dem Blockwerk des Hangschuttes zutage, von denen einzelne selbständig sind, andere wieder, eng benachbart, gemeinsam eine „Quelle" bilden. Heute lassen sich 19 Quellen unterscheiden, von denen 13 mit Austrittstemperaturen von rd. 36 bis 48°C balneotherapeutisch genutzt werden. Die letzteren sind durch kürzere oder längere Stollen, Schächte, Becken oder Ummauerung der Austrittsspalten gefaßt, während die ungenützten Thermalwasserspenden aus Felsspalten, als Hangriesel oder durch Entwässerungsschlitze zum Vorschein kommen. Die Gesamtschüttung der Gasteiner Therme beträgt rd. 4,8 Millionen Liter/Tag. In chemischer Hinsicht besitzt das Thermalwasser mit rd. 320 bis 400 mg an gelösten festen Stoffen im Liter — je nach dem Austritt — eine akratische Konzentration und den Charakter eines Natrium-Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wassers. Die Hauptbestandteile, ebenso die Begleitelemente und wohl auch die

meisten der vorkommenden Spurenelemente — etwa 2 Dutzend — sind balneotherapeutisch ohne Bedeutung; eine Ausnahme macht nur das Radon, dessen Konzentration bei den genützten Quellen zwischen 6 und 150 nCi/Liter liegt (im therapeutisch genützten Mischwasser im Mittel bei 20 nCi/Liter). Von sonstigen radioaktiven — balneologisch belanglosen — Spurenstoffen kommen noch Radium mit im Mittel 20 pCi/Liter sowie Uran mit einigen Mikrogrammen je Liter vor. Seiner Herkunft nach dürfte das Thermalwasser als vados anzusehen sein, das seine Wärme nur den hohen Temperaturen in der Erdtiefe verdankt, in die es absinkt, und das nach Tritium-Bestimmungen möglicherweise einen Zeitraum von einem Dezennium und mehr für sein Wiederaustreten benötigt (vgl. SCHEMINZKY [6]).

2. Vorkommen und Beschaffenheit des Allophan-Schwefel-Hydrogels

Kieselsäureabscheidungen an den Austritten der Gasteiner Therme sind schon seit Jahrhunderten bekannt. So berichtet z. B. KIENE (7) im Jahre 1847: „In den Stollen der Quellen, wie auf dem Boden und an den Wänden der Badebecken bemerkt man schon nach 36 Stunden jene weißgraue gallertartige Substanz, die sich in vielen heißen Quellen findet, und unter dem Namen Barègine bekannt ist.“ An Stellen, an welchen das heiße Wasser unter Zutritt der Luft und des Lichtes damals über Steine rieselte, entwickelten sich weiße und grünliche schwimmende Fäden, wodurch aus dem primären Absatz der „Gasteiner Badeschlamm“ (Ulva thermalis) entstand. Dieser Badeschlamm wurde früher zu Auflagen u. a. bei Geschwüren verwendet, worüber schon BARISANI (8), NIEDERHUBER (9) und KIENE (7) berichteten. Heute ist die Bildung des Badeschlammes durch die Fassung der Quellen und deren Abschluß vom Licht unterbunden. Eine weißliche gallertartige Substanz entsteht jedoch immer noch z. B. an einzelnen der 27 Austritte im Stollen der Quelle I-Franz-Joseph-Quelle, worauf DITTLER und ABRAHAMCZIK (10) im Jahre 1936 wieder aufmerksam gemacht haben.

Diese weißgraue, zum Teil durchsichtige, manchmal auch porzellanweiße Gallerte, gelegentlich auch mit blaß schwefelgelber Tönung, haftet unterhalb der Austritte auf dem vom Thermalwasser überrieselten Felsen und läßt sich leicht mit einem Spatel von der Unterlage abheben; sie bildet sich in 2 bis 3 Wochen wieder neu. Die Analyse von ABRAHAMCZIK und FRIEDRICH (siehe 10) ergab unter den anorganischen Bestandteilen Kieselsäure und Aluminiumoxyd im Verhältnis nahezu 2:1 wie im Mineral Kaolin; die organische Substanz der Gallerte entsprach nach der Elementaranalyse etwa einem Verhältnis von 50% Eiweiß und 50% Cellulose (11). Die von den erwähnten Autoren benützte Kennzeichnung „Kaolin-Gel“ erwies sich allerdings als nicht berechtigt, da die Gallerte eine amorphe Abscheidung darstellt, während

das Mineral Kaolin eine Gitterstruktur besitzt; amorphe Kieselsäure-Aluminiumhydroxyd-Abscheidungen sind mineralogisch als „Allophan“ zu bezeichnen, wobei auch das Verhältnis der beiden Komponenten nicht immer gerade 2:1 sein muß[3]. Da die an den Gasteiner Thermalquellen vorkommende wasserreiche Gallerte auch elementaren Schwefel enthält, ist sie daher als Allophan-Schwefel-Hydrogel zu bezeichnen. In ihr kommen reichlich Mikroorganismen, vor allem Bakterien vor, unter denen die schwefelabscheidenden Bakterien am auffallendsten sind.

Die Quelle I-Franz-Joseph-Quelle, in welcher das Allophan-Schwefel-Hydrogel am häufigsten auftritt, ist in einem rd. 90 m langen Stollen gefaßt (Abb. 1). Der Stollen durchörtert vorerst in gerader Erstreckung den Hangschutt, bis er bei rd. 67 m den gewachsenen Fels erreicht; dort gabelt er sich in einen kurzen Süd- und in den rd. 24 m langen Nordschlag, von denen der letztere an der Grenze des gewachsenen Fels gegen den Hangschutt entlang zieht; im Nordschlag kommt die Mehrzahl der 27 Einzelaustritte (von Nr. 10 bis Nr. 27) zum Vorschein, welche entweder am rechten (östlichen) Ulm oder an der Firste dem gewachsenen Fels entströmen und in dem entlang dieses Fels verlaufenden Thermalwasserkanal abfließen. Von diesen 17 Austritten (Abb. 1), deren wichtigste physikalische und chemische Eigenschaften in Tab. 1 zusammengestellt sind, zeigen 10 eine ausgesprochene Bildung des Allophan-Hydrogeles mit Schwefelbakterien. Tafel I bringt Beispiele für das makroskopische Erscheinungsbild dieses Hydrogeles. Austritt 14 (Tafel I/1) kommt in einer kleinen Nische im Fels des Nordschlages zum Vorschein, welche an der Stollensohle beginnt und deren höchster Punkt etwa 0,4 m über dieser liegt; der Thermalwasserriesel tritt am höchsten Punkt aus und strömt unmittelbar nach unten in den Thermalwasserkanal. Der Hauptstrom ist durch die weiße, bis zu 1 cm dicke Gallerte (A in Tafel I/1) gekennzeichnet. Bemerkenswert ist hier, wie übrigens auch bei allen anderen ein Allophan-Schwefel-Hydrogel abscheidenden Thermalwasseraustritten, daß die Gallerte zu beiden Seiten im Bereich des langsameren Randstromes von der Abscheidung eines Mangan-Eisenrasens (E in Tafel I/1) begleitet wird. Der 0,95 m über der Stollensohle erfolgende Austritt 25 (Tafel I/2) stellt einen schwächeren Thermalwasserzulauf dar, der durch Einzementieren eines Ansatzstückes für Untersuchungszwecke nunmehr über einen Schlauch abfließt; der dadurch bedingte leichte Rückstau hat aber dazu geführt, daß das Thermalwasser nunmehr auch links neben dem Ansatzstück aus einer feinen Spalte im Gneis als ganz schwacher Riesel zum Vorschein kommt und wegen der langsamen Strömung eine besonders dicke, fast wulstige Schicht des Allophan-Schwefel-Hydrogels am Felsen ausbildet; auch hier sind seitliche Begleitstreifen eines Mangan-Eisenrasens festzustellen.

Die Quelle IX-Elisabeth-Quelle ist mit ihren 12 Austritten gleichfalls in einem allerdings nur 27 m langen Stollen gefaßt, welcher im Gegensatz zum Stollen der Quelle I zur Gänze ausgemauert ist. Von ihren Austritten liefert nur Nr. 7 ein Allophan-Schwefel-Hydrogel. Dieser kommt mit den Austritten 4, 5 und 6 in einer Nische der Stollenausmauerung zum Vorschein; im Bereich dieser Nische treten die 4 Thermalwasserstrahlen in Kupferrohren mit etwa 40 mm lichter Weite aus der Stollenmauerung aus und ergießen sich in ein flaches Sammelbecken, welches zum Thermalwassersammelrohr abgeleitet wird. Nach oben zu

[3] Wir verdanken diesen wichtigen Hinweis Herrn Prof. Dr. H. MEIXNER (Knappenberg, Kärnten).

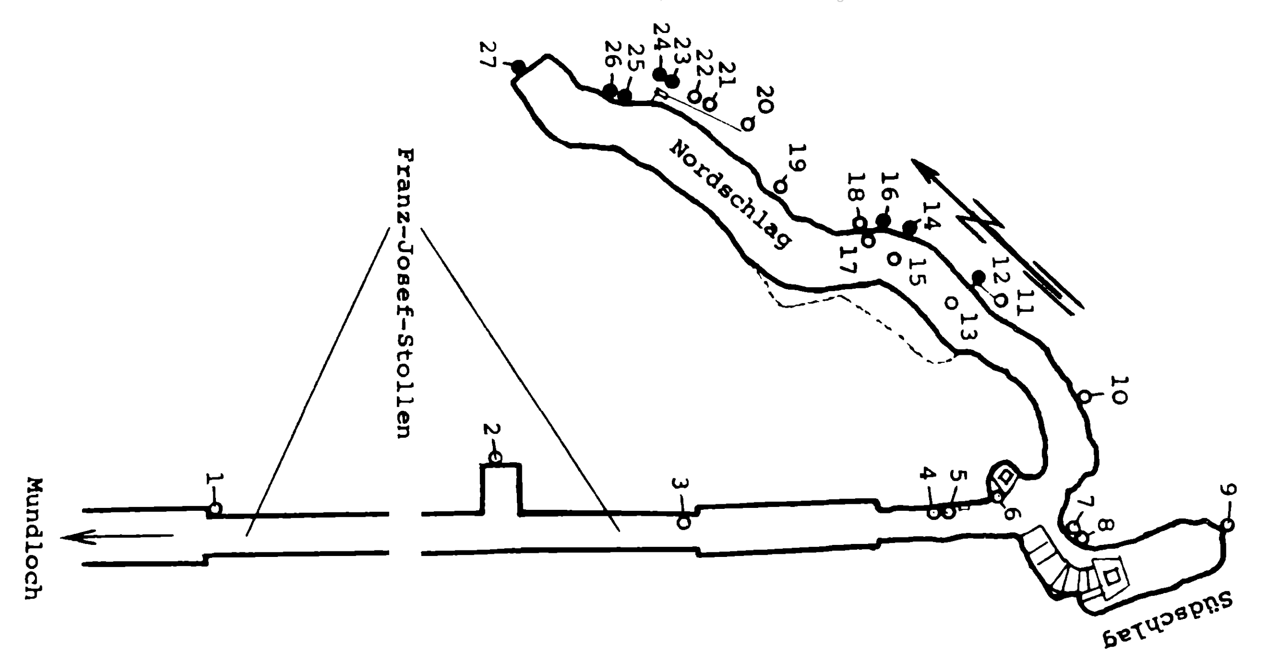


Abb. 1. Grundriß des hinteren Stollenabschnittes in der Gasteiner Thermalquelle I-Franz-Joseph-Quelle. Die einzelnen Austritte sind durch Kreise markiert; bei jenen Austritten, welche ein Allophan-Schwefel-Hydrogel absetzen, sind die Kreise schwarz ausgefüllt.

Tabelle 1. Untersuchung der Austritte der Quelle I-Franz-Joseph-Quelle am 12. 9. 1955

Austritt			Ergiebigkeit Liter/min	Temperatur °C	pH bei Quelltemp.	Elektrolyt Leitfähigkeit $10^{-5}\Omega^{-1}.cm^{-1}$ bei 20° C	Chlorion mg/kg	Kaliumpermanganatverbrauch mg/kg	Sauerstoffgehalt mg/kg	Radongehalt in n Ci/Liter
Nr.	Stollenmeter	Beschreibung								
10	71,1 N	Bodenquelle, Verschneidung Quarzkluft und Sohle, Nordschlag	4,25	40,0	8,30	40,054	24,4	2,6	2,9	20,4
11	75,1 N	aus NO-Ulm des Nordschlages 0,7 m über Sohle	versiegt							
12	76,0 N	aus NO-Ulm des Nordschlages 0,85 m über Sohle	2,6	44,6	9,07	47,237	31,4	9,2	0,3	20,5
13	76,0 N	Deckenquelle, Mitte der Firste	4,28	41,5	8,24	42,808	26,5	3,8	3,5	24,0
14	78,4 N	Bodenquelle in Nische an der Sohle	2,95	45,2	9,12	47,897	31,1	3,0	0,1	22,2
15	78,4 N	Deckenquelle, Mitte der Firste	0,33	40,9	8,36	42,542	27,7	9,7	5,8	5,6
16	78,9 N	Bodenquelle in kleiner Nische an der Sohle	4,77	45,5	9,28	47,565	31,1	4,3	0,02	20,0
17	79,4 N	Deckenquelle nahe Verschneidung NO-Ulm und Firste	9,0	42,0	8,27	42,542	27,1	8,2	4,45	21,2
18	79,8 N	aus Verschneidung NO-Ulm und Firste (Betontrichter)	7,5	43,4	8,82	44,476	27,7	5,3	1,9	25,4
19	84,8 N	aus Verschneidung NO-Ulm und Firste	fast versiegt	—	—	42,808	—	—	—	—
20+21 +22	85,7 bis 87,6 N	aus NO-Ulm, nahe der Verschneidung und Firste	4,0	43,6	8,63	45,061	28,3	2,1	3,5	8,2
23	88,3 N	aus Mitte des NO-Ulmes, hinter Glasfenster	60,0	45,3	9,09	46,913	29,8	6,4	0,1	22,0
24				45,1	9,15	45,968	29,5	4,7	0,2	20,0
25	88,8 N	aus NO-Ulm, 0,95 m über Sohle	1,38	45,6	8,93	47,237	30,8	3,0	0,1	22,1
26	90,2 N	aus NO-Ulm, 0,50 m über Sohle	0,15	44,5	8,69	47,897	30,8	2,7	0,1	22,3
27	93,3 N	aus Ortsbrust des Nordschlages, 1,10 m über Sohle	9,0	45,6	8,70	46,913	30,1	3,4	0,6	21,0

Anmerkung: Die Angaben in Stollenmeter gelten entlang der Stollenachse vom Mundloch aus gemessen; der Zusatzbuchstabe „N" bedeutet, daß der Austritt im Nordschlag vom Jahre 1929/30 liegt, welcher bei Stollenmeter 67,3 vom alten Franz-Joseph-Stollen abzweigt. Die Analysen vom 12. 9. 1955 berücksichtigten noch nicht den Gehalt

ist dieses Sammelbecken mit einer inneren Höhe von 20 cm durch eine Verglasung mit 2 Türen abgedeckt. Es ist besonders bemerkenswert, daß von diesen 4 Thermalwasserstrahlen nur der Austritt 7 am Grund seines Austrittsrohres ein durch seine weiße Farbe deutlich erkennbares Allophan-Schwefel-Hydrogel (neben einem darunterliegenden Mangan-Eisenrasen) absetzt, während sich in den Austrittsrohren 4, 5 und 6 ausschließlich ein Mangan-Eisenrasen bildet.

Der Wassergehalt des Allophan-Schwefel-Hydrogels ist sehr hoch. Er wechselt auch mit der Konsistenz und dem Alter der Gallerte. Vorsichtig abgehobenes und möglichst ohne Wasser in ein Wägegläschen gebrachtes Hydrogel ergab Wassergehalte von 98,9 bis 99,09%. Da bei diesem Verfahren das Miteinbringen von Thermalwasser mit der Gallerte in das Wägegläschen nicht mit Sicherheit verhindert werden konnte, ja sogar wahrscheinlich ist, bestimmten wir den Wassergehalt auch noch bei der sog. „vollen Wasserkapazität" wie bei Peloiden. Zu diesem Zweck wurde eine größere Menge des Hydrogels in eine Filterhülse von 4,5 cm Durchmesser und 12 cm Höhe gebracht und diese freischwebend in einer feuchten Kammer 8 Tage belassen; unter diesen Bedingungen tropft alles Wasser ab, welches von der Gallerte nicht gebunden werden kann. Der nach dieser Zeit gefundene Wassergehalt betrug im Mittel aus mehreren Proben 93,2% und dürfte dem tatsächlichen Wert auch entsprechen.

Zur Bestimmung der wesentlichsten Bestandteile im Allophan-Schwefel-Hydrogel wurde die Gallerte z. T. bei 105°C, z. T. über Phosphorpentoxyd getrocknet. Es interessierte uns der Gehalt an organischer Substanz, an Kieselsäure, Aluminiumoxyd, Eisen- und Manganoxyd sowie an elementarem Schwefel. Infolge des hohen Wassergehaltes gibt auch eine scheinbar große Menge der Gallerte nur recht wenig Trockensubstanz, so daß es nicht in allen Fällen möglich war, alle interessierenden Bestandteile an der gleichen Probe quantitativ zu bestimmen. Die Untersuchungsergebnisse an 7 verschiedenen Proben von Austritten der Quelle I-Franz-Joseph-Quelle bringt die Tab. 2[4].

Auffallend ist zunächst der relativ hohe Gehalt an organischer Substanz, welcher auf die im Hydrogel befindlichen Bakterien und deren organische Gallerte zurückzuführen ist. In den meisten Proben dominiert aber die Kieselsäure mit 15,3 bis 39,5% in der Trockensubstanz, wenn wir von dem Ausnahmefall der Untersuchung vom April 1965, der Mischprobe 1, absehen. In dieser konnte auch das Aluminiumoxyd nur mit 0,4% nachgewiesen

[4] Herrn Ing. E. KOMMA, dem i. R. befindlichen früheren Leiter der chem. Abteilung am Forschungsinstitut Gastein, seinem Sohn E. G. KOMMA sowie Med. techn. Assistentin Frau G. ZEITLINGER danken wir herzlich für die Durchführung aller chemischen Untersuchungen und die Bestimmung des Wassergehaltes.

werden, während es in den übrigen daraufhin untersuchten Proben mit 8,3 bis 14,3% vorhanden war. Die Mischprobe 1 vom April 1965 fiel auch schon durch ihren besonders hohen Wassergehalt mit 99,09% auf und unterschied sich damit von den anderen Proben. Bemerkenswert ist ferner auch der Gehalt an Eisenoxyd und Manganoxyd, welcher an zwei Proben für die Austritte I/25 und I/26—27 untersucht worden war. Immer handelte es sich bei diesen um eine anscheinend farblose bzw. weißgraue Gallerte; in den Randzonen der Gallert-Abscheidungen ist aber das Allophan-Hydrogel meistens schon leicht gelbbraun verfärbt und enthält auch wesentlich mehr an Eisen- und Manganoxyd. So wie in dem schon erwähnten Mangan-Eisen-Rasen (Reissacherit) überwiegt auch hier das Mangan gegenüber dem Eisen. Der Gehalt an diesen Metalloxyden hängt mit den im Allophan-Hydrogel vorkommenden mangan- und eisenabscheidenden Bakterien zusammen (vgl. später). Als letztes ist auf den Gehalt der Gallerte an elementarem Schwefel zu verweisen, der je nach der Probe in der Trockensubstanz 0,3 bis 2,5% ausmacht. Dieser Schwefelgehalt steht mit den später noch eingehend zu besprechenden Schwefelbakterien in Beziehung.

3. Allgemeiner krenobiologischer Befund

Bei schwacher Vergrößerung, insbesondere mit dem Stereomikroskop, erweist sich das Allophan-Schwefel-Gel aus kugelförmig wachsenden Gebilden zusammengesetzt, welche, dicht nebeneinander gelagert, zu einer höckerigen Oberflächenbeschaffenheit führen; die etwa halbkugeligen Höcker haben jeweils eine verschiedene Größe, ohne gegeneinander aber scharf abgegrenzt zu sein (Tafel II/1). Wenn man bei schwacher Vergrößerung und schrägem Auflicht von der Seite her durch eine Abrißstelle zwischen den Höckern in das Innere der Gallerte blickt, so erweist sie sich scheinbar als optisch leer, während gegen die Oberfläche zu sich eine Fülle von Mikroorganismen zusammendrängt. Diese zeigen sich auch bei senkrechter Auflichtbeleuchtung wie in Tafel II/1 und im Quetschpräparat.

Die in der älteren Literatur berichteten mikroskopischen Untersuchungen über das „Barègine", welche u. a. bei KIENE (7) sowie bei WINDISCHBAUER (12) angeführt werden, waren für uns kaum verwertbar; einerseits handelte es sich damals ja um eine außerhalb der Quellstollen unter Lichtzutritt entstandene Vegetation, andererseits ist heute schwer bestimmbar, was seinerzeit unter den einzelnen Organismenbezeichnungen verstanden worden war. Das im Stollen der Quelle I-Franz-Joseph-Quelle entstehende Gel wurde erstmals von PASCHER im Jahre 1937 biologisch untersucht, allerdings nur orientierend; über dessen

Befunde liegt bloß ein kurzer Aktenvermerk im Archiv des Forschungsinstitutes Gastein vor. PASCHER hat stäbchenförmige Bakterien, streptokokkenartige Verbände, kleine, kugelförmige Bakterien, mikrozystenartige Verbände aus ellipsoidischen oder kugeligen Bakterien, weiters auch längere, sehr schwach lichtbrechende Stäbchen und schließlich auch gekrümmte, manchmal fast vibrioartig aussehende Stäbchen gesehen; sein Bericht enthält allerdings über die so auffallenden Schwefelbakterien keinen Hinweis. Es war nicht mehr feststellbar, ob PASCHER die Gallerte in Gastein selbst untersucht hat oder ob ihm Proben nach Prag zugeschickt worden sind, in welchem Fall es nicht verwunderlich wäre, daß ihm das Vorhandensein der Schwefelbakterien entgangen ist. Leider fehlt im Bericht PASCHERS auch eine Angabe über die Fundstelle des untersuchten Materiales.

Nach unseren Befunden lassen sich im Allophan-Schwefel-Gel folgende Gruppen von Mikroorganismen unterscheiden:

1. Leichtgekrümmte Stäbchen mit einer Länge von etwa 4 bis 5 μm und einer Dicke von rd. 0,4 bis 0,6 μm, welche stark lichtbrechende Tröpfchen eingeschlossen enthalten (Tafel II/2); bei frischem Material sind diese Tröpfchen kleiner und zahlreicher (etwa 3 bis 5 pro Stäbchen), bei älterem Material ist die Zahl der Tröpfchen geringer, doch sind diese dann größer. Sie kommen vor allem in den oberflächlichen Zonen des Hydrogels reichlich vor. Wie aus dem folgenden eingehenden Untersuchungsbericht hervorgeht, handelt es sich bei diesen Stäbchen um schwefeloxydierende bzw. schwefelabscheidende Bakterien.

2. Häufig sind auch feine, die Gallerte durchkreuzende, zellig unterteilte Fäden verschiedener Länge mit einer Dicke von 0,2 bis 0,4 μm; diese meist gerade gestreckten, seltener leicht gebogenen Fäden kommen auch mitunter in zarten Bündeln vor, geben eine deutliche, wenn auch nicht sehr kräftige Berlinerblau-Reaktion (Tafel III/3), enthalten aber nach der Mikro-Reaktion von HACKL (13) kein Mangan. Sie nehmen auch das Fluorochrom Auramin gut auf und lassen sich so im Fluoreszenzmikroskop leicht darstellen. Die positive Berlinerblau-Reaktion, das Fehlen der Manganreaktion, das gelegentliche Vorkommen in Bündeln, das Fehlen von Verzweigungen und die nur geringe Fadendicke würden für *Leptothrix thermalis* (MOLISCH) DORFF sprechen; die hier relativ geringe Intensität der Berlinerblau-Reaktion könnte auf die erschwerten Diffusionsbedingungen der Reagenzien in der Gallerte zurückgeführt werden.

3. Vorwiegend in den tieferen Schichten der Gallerte finden sich Kokken verschiedener Größe. Häufig sind solche mit Durchmessern von 1,0 bis 1,8 μm, welche microcystis-artige Kolonien mit deutlicher Abgrenzung gegen die Umgebung bilden, sich mit allen gebräuchlichen Bakterienfarbstoffen gut anfärben, aber keine Berlinerblau-Reaktion und keine Mangan-Reaktion geben. Seltener

sind größere Kokken mit einem Durchmesser von 2,0 bis 2,5 μm in kleinen Gruppen, welche sich nach Vorbehandlung der Gallerte mit Kaliumjodid besonders gut darstellen lassen; sie geben keine Berlinerblau-Reaktion, bei der Prüfung auf Mangan färbten sie sich gelegentlich leicht violett. Ebenfalls selten sind ganz kleine Kokken mit Durchmessern von 0,4 bis 0,6 μm, ebenfalls in Gruppen, welche auch keine Berlinerblau-Reaktion geben oder sich nur ganz schwach blau anfärben, während die Mangan-Reaktion fast immer stark positiv ist. Eine Artbestimmung aller dieser Kokken wäre nur auf Grund von Kulturversuchen möglich.

4. Fädige Gebilde mit spiraligen, zickzack-verlaufenden kurzen Windungen (Tafel III/1), welche von VOUK entdeckt, der Eisenbakteriengattung *Gallionella* zugerechnet und als *Gallionella scheminzkyi n. sp.* beschrieben worden sind (14). Die Dicke des Fadens kann bis 3,6 μm betragen, die Länge dieses Gebildes variiert jedoch sehr stark, sie beträgt im Mittel etwa 70 μm. Oft werden die spiraligen Windungen durch mehr oder weniger gerade oder bogenförmig verlaufende Strecken unterbrochen, worauf wieder eine Gruppe spiraliger Windungen folgt; am Ende löst sich das Gebilde sehr häufig in zwei verdrillte Einzelfäden auf. In unseren neueren Untersuchungen konnte bei stärkster Vergrößerung festgestellt werden, daß der Einzelfaden selbst wendelartig gewunden ist, wobei erst die Wendel dann die erwähnten spiraligen Windungen ausführt (Tafel III/2). Die Berlinerblau-Reaktion der Fäden ist nicht immer positiv, was aber mit den schon oben erwähnten erschwerten Diffusionsbedingungen für die Reagenzien in der Gallerte zusammenhängen kann. Diese *Gallionella* soll in einer späteren Mitteilung ausführlicher behandelt werden.

5. Ganz selten wurden im Allophan-Schwefel-Hydrogel einzelne dünne unbewegliche Fäden gesehen, welche hell aufleuchtende Tröpfchen enthielten (Tafel IV/1); nach der Fadendicke von 0,6 bis 0,7 μm könnten diese Fäden *Thiothrix tenuissima* entsprechen. Allerdings bildet diese Spezies nach der Originaldiagnose sonst dichte Rasen.

6. Von tierischen Mikroorganismen fanden sich im Allophan-Schwefel-Hydrogel vorläufig nicht näher identifizierbare kugelförmige Gebilde mit Durchmessern von 6,4 μm bei den größeren (Tafel IV/2), von 3,2 bis 4,0 μm bei den kleineren und häufigeren. Ferner kommen lebende, unbeschalte Amoeben sowie ciliate Infusorien und Flagellaten vor. Über die Fauna der Gasteiner Quellaustritte haben KAHAN und LASMAN (15) bereits berichtet.

7. Auffällig war schließlich in einigen Proben des Hydrogels das Vorkommen mikroskopisch kleiner Holzfragmente, welche

entweder von der Zimmerung des Stollens herrühren oder vielleicht auch mit dem Thermalwasser eingeschwemmt worden sind; nach unseren Feststellungen handelt es sich dabei um Koniferenholz. Diese Holzfragmente sind derzeit Gegenstand näherer Untersuchung durch G. HALBWACHS, der später darüber berichten wird; erste Mitteilungen über diese Beobachtungen finden sich bei SCHEMINZKY (16, 17).

Im folgenden wird nur mehr auf die gekrümmten Stäbchen mit Schwefeleinschlüssen eingegangen; die übrigen Mikroorganismen des Allophan-Schwefel-Hydrogels werden in späteren Mitteilungen ihre Bearbeitung finden.

4. Schwefelbakterien-Kolonien des Allophan-Schwefel-Hydrogeles

Der Habitus der auf Tafel II/2 dargestellten Kolonien ähnelt weitgehend der von MOLISCH (18) gegebenen Beschreibung von *Bacterium bovista*, welches er in Form blasenförmiger Kolonien im faulenden Seewasser des Hafens von Triest gefunden hat. JANKE (19) nahm diese Spezies dann in die von ihm neu aufgestellte Familie der Thiobacteriaceae unter dem Namen *Thiobacterium* MOLISCH auf, hat diesen Namen aber später nach einer bei BERGEY (20) wiedergegebenen Revision auf „*Thiobacterium bovista* (MOLISCH, 1912) JANKE 1924" abgeändert. Nicht nur in der Wuchsform der Kolonien entsprechen unsere Bakterien *Th. bovista*, sondern auch im verschiedenartigen Aussehen im auffallenden und durchfallenden Licht. Auch die Form und die Dimensionen der einzelnen Bakterienzelle sind mit der Beschreibung von MOLISCH vereinbar; auch bei unseren Bakterien enthalten die Zellen bis zu 5 Schwefeltröpfchen, solche kommen aber nicht selten auch außerhalb der Zelle, ihr jedoch anliegend, vor (Tafel II/2). So wie bei den erwähnten Autoren angeführt, haben sich auch die Bakterienzellen mit allen üblichen Bakterienfarbstoffen, insbesondere auch mit Gentianaviolett, anfärben lassen, während die Gallerte selbst praktisch keine Farbe annimmt. Aus den angeführten Gründen glauben wir auch die Schwefelbakterien des Gasteiner Allophan-Schwefel-Hydrogels der Spezies *Thiobacterium bovista* (MOLISCH) JANKE zurechnen zu dürfen. Als neues Charakteristikum können wir noch hinzufügen, daß diese Bakterien gramnegativ sind. Ein Unterschied gegenüber der von MOLISCH und JANKE gegebenen Beschreibung besteht allerdings darin, daß bei unseren blasenförmigen Kolonien kein flüssiger Inhalt feststellbar war. Dies mag aber damit zusammenhängen, daß die

Kolonien im Allophan-Hydrogel nicht nur aus organischer Gallerte bestehen, sondern auch Kieselsäure und Aluminiumhydroxyd in Gelform enthalten, wodurch die gesamte Gallerte fester wird.

So wie bei allen Schwefelbakterien treten auch bei *Th. bovista* die Schwefeltröpfchen, vor allem nach dem Absterben, aus den Bakterienzellen in die Umgebung aus, können daher auch abseits von diesen in der Gallerte gefunden werden und verschmelzen mit der Zeit zu größeren Tröpfchen. Nachdem uns zur Zeit der ersten orientierenden Untersuchungen nur der Kieselsäuregehalt der Gallerte, nicht aber deren Schwefelgehalt bekannt war und beeinflußt durch die Entdeckung eines Kieselbacteriums im Schlamm der Aachener Schwefeltherme „Kaiserquelle“ durch BRUSSOFF (21), welches sich in den Kulturen am besten bei Temperaturen über 40°C entwickelt, wurden die winzigen, stark aufleuchtenden und kokkenähnlichen Tröpfchen zunächst auch als Kieselbakterien gedeutet (1). Die spätere Entdeckung der Stäbchenbakterien mit Tröpfchen (22) und die Beobachtung, daß bei längerem Aufbewahren der Gallerte die kleinen Tröpfchen zu immer größeren verschmelzen und sogar Kristalle bilden, führte uns aber zur Berichtigung der ursprünglichen Annahme.

Durch die Feststellung dieser hell aufleuchtenden tröpfchenartigen Einschlüsse in den Bakterienzellen frisch eingesammelten Hydrogels war schon der erste Hinweis auf die Natur dieser Mikroorganismen als Schwefelbakterien gegeben. Zum ersten qualitativen Nachweis des Schwefelgehaltes wurden einige Flocken des Hydrogels auf einem Objektträger auftrocknen gelassen und dann in der Flamme erhitzt; wie zu erwarten, war sehr bald ein Geruch nach sublimierendem Schwefel zu erkennen und bei stärkerem Erhitzen auch ein stechender Geruch nach Schwefeldioxyd. Dieser erste Schwefelnachweis fand seine Bestätigung im Ergebnis der quantitativen Analysen (Tab. 2).

Das Verhalten der in den Bakterienzellen eingeschlossenen Tröpfchen wurde auch mit den üblichen mikrochemischen Reaktionen untersucht. Diese sprachen z. T. für die Schwefelnatur dieser Tröpfchen: Unlöslichkeit in Wasser sowie in Salzsäure, Löslichkeit in absolutem Alkohol und Schwefelkohlenstoff, allerdings nur teilweise in heißer Kalilauge; dagegen könnte wieder sprechen, daß sich die Tröpfchen nicht in Essigsäure auflösten.

Da metallisches Silber sich bei Gegenwart von Schwefelwasserstoff oder von Sulfiden schwarz färbt, prüften wir, ob umgekehrt nicht auch elementarer Schwefel mit wasserlöslichen Silberverbindungen, z. B. Silbernitrat, mit Schwarzfärbung reagiert. Wir brachten daher Allophan-Schwefel-Hydrogel in eine 2,5%ige

Tabelle 2. Zusammensetzung des Allophan-Schwefel-Gels der Quelle 1 (bezogen auf die Trockensubstanz)

Austritt Nr.	I/25	I/25	I/25	I/26 bis 27[6]	I/27	Mischprobe 1[7]	Mischprobe 2[8]
Entnahme	Jänner 1964	Jänner 1966	Oktober 1966	Jänner 1964	Februar 1964	April 1965	Sept. 1965
Organ. Substanz (%)	11,7		reichlich	12,2		24,7	
Mit HF nicht flüchtiger Anteil (%)	23,7			25,1		49,8	
SiO_2 (%)	37,5	18,4	15,3	39,5	38,1	20,8	31,4
Al_2O_3 (%)		10,1	8,3			0,4	14,3
Fe_2O_3 (%)	9,0	3,4		5,0		2,2	5,4
MnO (%)	11,1			8,5			
S (elementar) (%)	Spuren			0,3	2,5	2,1	0,5

Silbernitratlösung und ließen diese im Brutschrank bei 41°C und Lichtabschluß 24 Stunden stehen. Nach dieser Zeit zeigte die mikroskopische Untersuchung an vielen Stellen des Hydrogels eine deutliche Schwarzfärbung der Schwefeltröpfchen (Tafel IV/3), während die im Präparat ebenfalls vorhandenen Kokken, Amoeben, Amoebenschalen u. a. organische Gebilde ungefärbt geblieben waren. Der letzterwähnte Befund ist deshalb wichtig, weil er zeigt, daß tatsächlich nur der amorphe Schwefel unter unseren Versuchsbedingungen mit Silber reagierte. Zur Kontrolle wurden Schwefelblumen unter den gleichen Bedingungen in 2,5% Silbernitrat gebracht. Ebenfalls nach 24 Stunden war schon makroskopisch zu erkennen, daß das Schwefelpulver sich deutlich dunkelgrau bis schwarz angefärbt hatte (Tafel V/1). Ähnliche Schwärzungen durch Silbernitrat bei schwefelhaltigem Knoblauchöl führt MOLISCH (23) nach den Untersuchungen von VOIGT als mikrochemische Reaktion an; zum Nachweis elementaren Schwefels in Pflanzengeweben ist unseres Wissens das Silbernitrat bisher noch nicht angewandt worden.

Wie schon erwähnt, bilden die ausgetretenen Schwefeltröpfchen in allen Lagern von Schwefelbakterien mit der Zeit Kristalle. Im

[6] Mischung des Gels vom Austritt I/26 und Austritt I/27.
[7] Mischung des Gels aus den Austritten I/14, I/16, I/25, I/26 und I/26a.
[8] Mischung des Gels aller ein solches führenden Austritte.

frisch entnommenen Allophan-Schwefel-Hydrogel waren gewöhnlich keine Kristalle zu finden, doch bei längerem Aufbewahren traten solche auf; die Entwicklung der Kristalle war rascher, wenn die Aufbewahrung bei Zimmertemperatur erfolgte, dagegen langsamer im Brutschrank bei 40 bis 45°C, vermutlich deshalb, weil die Bakterienzellen bei einer ihrem normalen Lebensraum entsprechenden Temperatur länger überlebten.

Die Kristalle im Allophan-Schwefel-Hydrogel zeigten allerdings mannigfache Abweichungen von den gewohnten Bildern; in den Lagern von Schwefelbakterien findet man — wie beispielsweise in den aus Thiothrix-Fäden bestehenden Lagern der Schwefelquelle von Susalitsch, Kärnten (Tafel VI/1 bis 4) — meist nur rhombische Doppelpyramiden, Doppelpyramidenstümpfe, rhombische Prismen oder unsymmetrisch-sechseckige Plättchen. Im Allophan-Schwefel-Hydrogel von Badgastein traten die rhombischen Doppelpyramiden nur selten auf; viel häufiger waren dünne Plättchen mit verkehrt-symmetrischer Zwillingsbildung (Durchwachsungszwillinge?), manchmal mit briefkuvertähnlicher Form (Tafel VI/5 und 6), noch häufiger mannigfache Kristallmißbildungen (Tafel VI/7 und 8). Öfters wurden auch Bündel von Nadeln in raphidenartiger Anordnung gesehen; daß auch diese Nadeln tatsächlich aus den Schwefeltröpfchen entstanden waren, ging daraus hervor, daß sie nicht selten innerhalb eines leeren Hofes inmitten einer dichten Tröpfchenanhäufung lagen (Tafel V/2). Das Auftreten atypischer Schwefel-Kristallformen im Allophan-Hydrogel wäre im Hinblick auf die erschwerten und sicher nicht gleichmäßigen Diffusionsbedingungen in einer immerhin rund 7% Feststoff enthaltenden Gallerte nicht unverständlich; es mußte aber auch mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß diese atypischen Kristalle nicht aus reinem Schwefel, sondern aus irgend einer Schwefelverbindung bestehen. Daher war der Nachweis erforderlich, daß tatsächlich die Kristallisation des Schwefels bloß durch das Vorhandensein des Allophan-Hydrogels atypisch verläuft. Dieser Nachweis schien auch schon deshalb von Interesse, weil, wie schon oben bemerkt, auch nicht alle mikrochemischen Reaktionen auf Schwefel eindeutig verlaufen sind.

Zunächst interessierte, welche Kristallformen überhaupt aus amorphen Schwefeltröpfchen entstehen können. Zu diesem Zweck wurden Schwefelblumen sowohl in Schwefelkohlenstoff als auch in Chloroform gelöst und Tropfen dieser Lösungen auf Objektträgern verdunsten gelassen; neben einigen bereits ausgebildeten Kristallen enthielt der Rückstand vorwiegend feinste amorphe Schwefeltröpfchen. Um den Kristallisationsverlauf verfolgen zu

können, wurde der Rückstand auf dem Objektträger nach Aufbringen eines Tropfens Thermalwasser mit einem Deckglas bedeckt und mit Wachs umrandet. Im Verlauf von Tagen bis Wochen bildeten sich dann aus den amorphen Schwefeltröpfchen Kristalle aus. Es zeigte sich, daß auch unter diesen einfachen Bedingungen die Kristallformen des Schwefels sehr mannigfach sein können; wohl war die häufigste Form die rhombische Doppelpyramide, doch kamen nicht selten auch Kristalldrusen, Stäbchen, unsymmetrisch-sechsseitige Plättchen (Tafel VII/1) sowie verkehrt-symmetrische Zwillingsbildungen, z. T. in Mißbildung (Tafel VII/2), entsprechend gewissen Formen im Allophan-Hydrogel (Tafel VI/8), vor. Dann haben wir versucht, den Schwefel aus vorsichtig bei 42°C getrocknetem Allophan-Hydrogel durch Schwefelkohlenstoff bzw. Chloroform zu extrahieren und die Lösung dann in gleicher Weise wie beim Versuch mit den Schwefelblumen verdunsten zu lassen. Auch hier wurde die Kristallisation der abgeschiedenen Schwefeltröpfchen nach Eindecken des Präparates über Tage bis Wochen hin verfolgt. In diesen Präparaten traten die typischen rhombischen Doppelpyramiden auf (Tafel VII/3), auch unsymmetrische Sechseckformen (Tafel VII/4) sowie Kristallmißbildungen (Tafel VII/5).

Hatten diese Versuche also gezeigt, daß der mittels Schwefelkohlenstoff oder Chloroform aus dem Allophan-Schwefel-Hydrogel extrahierte Schwefel in gleicher Art kristallisiert wie die in diesen Flüssigkeiten aufgelösten Schwefelblumen, so war noch der Nachweis fällig, daß bei der Kristallisation in einer Gallerte häufiger atypische Kristallformen auftreten. Zu diesem Zweck wurde das Verhalten amorpher Schwefeltröpfchen in 2%iger Gelatine sowie in Agar-Gallerten mit 0,5—0,25 und 0,125% Agargehalt untersucht, wobei der Schwefel in die jeweils heiße Gelatine- bzw. Agarlösung durch Einrühren abgestufter Mengen einer gesättigten Schwefelblumen-Auflösung in Aceton eingebracht wurde. Von den heißen Gallerten waren mikroskopische Präparate angefertigt, mit einem Deckglas bedeckt und umrandet worden. Unmittelbar nach der Herstellung solcher Präparate sind neben spärlichen kleinen oder größeren Schwefelkristallen vor allem amorphe Schwefeltröpfchen in großer Zahl zu sehen. Im Verlauf von Tagen bis Wochen begannen diese zu kristallisieren; während in den dünneren Gallerten die typischen Schwefelkristalle in Form rhombischer Doppelpyramiden oder unsymmetrischer sechseckiger Täfelchen neben Mißbildungen dominierten, fanden sich bei höherer Gallertkonzentration vorwiegend abweichende Bildungen vor, welche an jene im Allophan-Schwefel-Hydrogel erinnerten: z. B.

Nadeln (Tafel VII/6) oder auch Plättchen von verkehrt-symmetrischer Zwillingsform (Tafel VII/7), wobei alle Übergänge von fast rechteckigen Plättchen bis zu der in Tafel VII/7 dargestellten Gestalt beobachtet werden konnten. Ebenso kamen auch Kristalldrusen vor und völlig unsymmetrische Mißbildungen. Im Gegenversuch wurde geprüft, ob nach Entfernung der Gallerte durch Behandlung des Allophan-Schwefel-Hydrogels in feuchtem oder getrocknetem Zustand mit Flußsäure die typischen Schwefelkristalle allein oder doch überwiegend auftreten. Das Material wurde nach der Flußsäurebehandlung in Thermalwasser aufbewahrt und tage- bis wochenlang hinsichtlich der einsetzenden Kristallisation verfolgt. Hier konnten nun typische Schwefelkristalle in Form rhombischer Doppelpyramiden, unsymmetrisch sechseckiger Plättchen (Tafel VII/8) oder Stäbchen, fast nie aber mißgebildete Kristallformen gesehen werden. Damit erscheint uns der Beweis erbracht, daß tatsächlich die erschwerten und ungleichmäßigen Diffusionsbedingungen in einer Gallerte die Ausbildung der besonderen Formen im Allophan-Schwefel-Hydrogel verursachen könnten.

5. Beschaffenheit des Thermalwassers und die Allophan-Schwefel-Hydrogel-Bildung

Nach den Zahlen der Tabelle 2 sind die wesentlichsten Inhaltsstoffe des Allophan-Schwefel-Hydrogels die Kieselsäure, das Aluminiumoxyd, die Mangan- und Eisenoxyde sowie der elementare Schwefel. Nach allen bisher durchgeführten Analysen sind die 4 ersterwähnten Bestandteile im Thermalwasser enthalten. Zweiwertige Schwefelverbindungen, welche die Voraussetzung für die Entwicklung der schwefeloxydierenden Bakterien bilden, sind dagegen bisher in den Analysen noch nicht nachgewiesen worden; vermutlich lag dies an den im Durchschnitt nur äußerst geringen Konzentrationen zweiwertiger Schwefelverbindungen. Es war daher erforderlich, das Thermalwasser auf Spuren von zweiwertigem Schwefel, insbesondere an Schwefelwasserstoff, zu untersuchen.

Zu diesem Zweck führten wir mit der äußerst empfindlichen Methode des Einhängens von Silberblechstreifen in das strömende Thermalwasser vorerst eine qualitative Prüfung durch; für diese wurden nicht nur Austritte herangezogen, an denen sich das Allophan-Schwefel-Hydrogel ausbildet, sondern auch solche, an denen dies nicht der Fall ist. Die Silberstreifen blieben 48 Stunden

im Thermalwasser hängen; nach dieser Zeit wurden sie herausgenommen und überprüft. Es ergaben sich:

a) Deutlicher Gehalt an Schwefelwasserstoff (starke Schwarzfärbung bzw. mooriger Belag von Silbersulfid oder wenigstens stark bräunliches Anlaufen des Silbers) bei: I/14, I/16, I/23—24, I/25, I/27, V (Lainer-Quelle) sowie IX/7.

b) Spuren von Schwefelwasserstoff (bräunliches Anlaufen der Silberbleche an der Grenze der Wahrnehmungsfähigkeit) bei: I/10, I/12 und IX/4.

c) Kein Schwefelwasserstoff (Silberbleche blank) bei: I/1b, I/9, VI/2 (Austritt 2 der Quelle VI-Doktor-Quelle) und X/3 (Austritt 3 der Quelle X-Fledermaus-Quelle).

Von einigen der stärker Schwefelwasserstoff führenden Austritte, nämlich I/25, I/27 und IX/7, konnten auch quantitative Bestimmungen des Schwefelwasserstoffgehaltes durchgeführt werden. Alle Befunde sind in Tabelle 3 eingetragen.

Tabelle 3. Allophan-Schwefel-Hydrogel-Bildung, Schwefelwasserstoff-Gehalt und Kieselsäure-Gehalt verschiedener Gasteiner Thermalwasser-Austritte

Austritt	Allophan-Schwefel-Hydrogel-Bildung	Schwefelwasserstoff qual. bzw. mg/kg	Kieselsäure mg/kg
I/1b	—	—	15
I/9	—	—	35
I/10	—	+	30
I/12	gelbildend	+	30
I/14	gelbildend	+++	40
I/16	gelbildend	+++	32
I/23—24	gelbildend	+++	45
I/25	gelbildend	0,5	45
I/27	gelbildend	0,8	30
V/1+2	—	++	30
VI/2	—	—	35
IX/4	—	+ ?	35
IX/7	gelbildend	0,7	35
X/3	—	—	30

Die römische Ziffer gibt die Nummer der Quelle an (I = Franz-Joseph-Quelle, V = Lainer-Quelle, VI = Doktor-Quelle, IX = Elisabeth-Quelle, X = Fledermaus-Quelle), die arabische die Nummer des Austrittes in der betreffenden Quelle.

In den Thermalwasseraustritten, an denen sich das Allophan-Hydrogel mit seinen Schwefelbakterien entwickelt, ist daher nach den berichteten Untersuchungen auch zweiwertiger Schwefel vorhanden. Da dieser im Stoffwechsel der Bakterien zu Sulfat oxydiert wird, wobei elementarer Schwefel als Nebenprodukt anfällt, benötigen diese Mikroorganismen auch Sauerstoff. Dieser findet sich nach unseren Bestimmungen im Thermalwasser der gallertbildenden Austritte ebenfalls vor; so beträgt beispielsweise der Sauerstoffgehalt beim Austritt I/14 rd. 0,1 mg/kg, beim Austritt I/25 rd. 0,3 mg/kg, beim Austritt I/26 rd. 0,1 mg/kg und beim Austritt I/27 sogar 1,0 mg/kg. Schließlich benötigen die Schwefelbakterien für ihr Wachstum noch Stickstoffverbindungen. Auch diese sind nach dem Kaliumpermanganat-Verbrauch der Wasserproben mit 0,3 bis 0,6 mg/kg vorhanden, meistens in Form von Ammoniumverbindungen bzw. in Form von Nitrit.

6. Herkunft des Schwefelwasserstoffes in der Gasteiner Therme

Grundsätzlich gäbe es für die Herleitung des Schwefelwasserstoffes zwei Erklärungsmöglichkeiten. Einerseits enthält der Gneisgranit, aus welchem die Gasteiner Thermalwässer austreten, Kiese; andererseits kommt im Thermalwasser auch Sulfat vor, aus welchem die Entstehung zweiwertiger Schwefelverbindungen durch sulfatreduzierende Bakterien (*Desulfovibrio desulfuricans*) möglich wäre. Wir haben in 2 Versuchen mit der auch von Münzel (24) für die Thermen von Baden, Schweiz, benützten Methode diese Bakterien nachzuweisen versucht, erhielten aber beide Male ein negatives Resultat. Ein dritter analoger Versuch wurde mit den bei Wallhäusser und Puchelt (25) beschriebenen Testfläschchen durchgeführt, welche uns von Herrn Wallhäusser in dankenswerter Weise überlassen wurden. Auch der neue Versuch ist negativ verlaufen (Tafel VIII). Doch selbst dieser schien uns noch nicht endgültig beweisend, da das Nährmedium in den Testfläschchen 6% Kochsalz enthielt. Die an das hypotonische und chlorarme Milieu des Gasteiner Thermalwassers möglicherweise angepaßten Bakterien hätten sich vielleicht schon des Kochsalzgehaltes wegen nicht entwickeln können. Nachdem uns Herr Wallhäusser Testfläschchen ohne Kochsalzgehalt zur Verfügung gestellt hatte, wurde daher der Versuch noch ein viertes Mal unter Verwendung von Fläschchen mit und ohne Kochsalz nebeneinander durchgeführt; aber auch im kochsalzfreien Nährmedium

gingen die Kulturen nicht auf[5]. Es darf also angenommen werden, daß sich im Gasteiner Thermalwasser keine sulfatreduzierenden Bakterien befinden und der Schwefelwasserstoff wahrscheinlich von den im Gneisgranit eingesprengten Kiesen herrührt. Dies würde aber auch erklären, wieso nicht alle Gasteiner Thermalwasseraustritte Schwefelwasserstoff führen; ein solcher wird offenbar nur dann vorhanden sein können, wenn die Aufstiegswege des betreffenden Austrittes eine solche Kieseinsprengung berühren.

7. Besprechung der Ergebnisse; Beziehungen der Schwefelbakterien zum Allophan-Hydrogel

Das an gewissen Austritten der Gasteiner Thermalquellen sich entwickelnde Allophan-Schwefel-Hydrogel ist nach den vorliegenden Untersuchungen durch das Vorkommen von Schwefelorganismen gekennzeichnet. Wenn wir von den nur ganz vereinzelt vorkommenden und bei Aufzählung der Gruppen der Mikroorganismen unter 5. erwähnten Fäden von *Thiothrix tenuissima* absehen, so setzt sich die Gallerte praktisch nur aus Kolonien des *Thiobacterium bovista* (MOLISCH) JANKE zusammen, welche allerdings in unserem Falle mit einem Gemisch von Kieselsäure und Aluminiumhydroxyd, dem Allophan, durchtränkt ist. Der Nachweis von Thiobacterium bovista an den Gasteiner Thermalquellen ist in verschiedener Hinsicht von Interesse. MOLISCH (18) hatte diese Spezies vor mehr als 50 Jahren im faulenden Seewasser des Hafens von Triest gefunden; bis heute scheint aber kein weiterer Fundort bekannt geworden zu sein, da auch die letzte Auflage von BERGEY's Manual (20), außer der allgemeinen Bemerkung: „Presumably widely distributed in coastal waters containing hydrogen sulfide" kein weiteres spezielles Vorkommen erwähnt. Gewisse Austritte der Gasteiner Thermalquellen scheinen daher der zweite namentlich bekannte Fundort für *Th. bovista* zu sein. Obwohl höhere Wassertemperaturen kein Hindernis für das Auftreten von Schwefelbakterien darstellen, ist doch die Feststellung nicht uninteressant, daß *Th. bovista* sich auch bei Temperaturen von 45,6°C (Austritte I/25 und I/27 nach Tabelle 1) noch üppig entwickeln kann; die Tatsache, daß die Kristallisation der in den

[5] Daß unsere Vermutung tatsächlich berechtigt war, hat sich aus Untersuchungen an einer schwach mineralisierten Schwefelquelle bei Kitzbühel ergeben. Auch dort wurden nebeneinander Testfläschchen mit und ohne Kochsalzgehalt beimpft, sulfatreduzierende Bakterien hatten sich aber nur in der kochsalzfreien Nährlösung entwickelt. Es kommen also auch kochsalzempfindliche sulfatreduzierende Bakterien vor.

Bakterienzellen abgeschiedenen amorphen Schwefeltröpfchen bei niederer Temperatur viel rascher eintritt als im Brutschrank bei Standorttemperatur, könnte dafür sprechen, daß an den Gasteiner Thermalquellen eine Variation vorkommt, welche sich bereits an die thermalen Verhältnisse adaptiert hat. Schließlich wäre noch festzustellen, daß die Konzentration der im Gasteiner Thermalwasser gelösten festen Stoffe und insbesondere der Kochsalzgehalt unvergleichlich niedriger ist gegenüber dem Seewasser des Triester Hafens; d. h. Th. bovista scheint also in osmotischer Hinsicht auch keine besonderen Ansprüche an den Standort zu stellen.

Aus Tabelle 3 ist zu ersehen, daß durchaus nicht alle Austritte der Gasteiner Therme Schwefelwasserstoff führen; es geht aus Tabelle 3 auch hervor, daß nur an solchen Austritten ein Allophan-Hydrogel gebildet wird, welche auch Schwefelwasserstoff enthalten. Wenn man vom Austritt I/1b absieht, welcher stark mit Oberflächenwasser vermischt ist, so findet man aber bei allen Austritten praktisch die gleiche Menge an Kieselsäure im Thermalwasser, welche zwischen 30 und 45 mg/kg liegt. Da auch das Aluminium in allen Austritten in mehr oder weniger gleich großer Menge vorhanden ist, so würde für alle Austritte durchaus die Möglichkeit bestehen, ein Allophan-Hydrogel (natürlich fallweise ohne Schwefelgehalt) abzuscheiden. Es ist aber auffallend, daß sich nur dort ein Hydrogel bildet, wo neben Kieselsäure und Aluminium auch noch Schwefelwasserstoff vorhanden und die Entwicklung der Schwefelbakterien möglich ist.

Eine ursächliche chemische Beziehung zwischen der Schwefel- und der Allophanabscheidung möchten wir nicht für wahrscheinlich halten. Es könnte aber sein, daß das Allophan tatsächlich an allen Austritten zur Abscheidung kommt, infolge der Wasserströmung aber immer wieder fortgeschwemmt wird; dort, wo aber die organische Gallerte der Blasenwand von Thiobacterium bovista (Molisch) Janke ein Stützgerüst liefert, könnte die Allophan-Abscheidung fixiert werden. In diesem Falle wäre allerdings zu erwarten, daß die Menge des jeweils zur Abscheidung kommenden Allophan-Schwefel-Hydrogels dem Schwefelwasserstoffgehalt in dem betreffenden Thermalwasseraustritt parallel geht. Das ist in gewissem Sinn auch tatsächlich der Fall, doch hängt die Ausbildungsmöglichkeit des Hydrogel-Belages auch sehr von den lokalen Strömungsverhältnissen ab. Bei einem schwachen Thermalwasserriesel, z. B. dem Austritt I/25, ist verständlicherweise ein Haftenbleiben des Allophan-Schwefel-Hydrogels auf der Felsunterlage leicht möglich; wenn aber, wie z. B. bei den an Schwefelwasserstoff relativ reichen Austritten I/23—24, durch

eine flache, nur handbreite Rinne je Sekunde 1 Liter Thermalwasser abströmen oder gar 2 Liter bei der Quelle V unter ähnlichen räumlichen Verhältnissen, so kann in einem solchen Gerinne ein Allophan-Schwefel-Hydrogel kaum in nennenswerter Stärke haften bleiben.

Zusammenfassung

Es wird über die Untersuchung von gelblich-weißen bis grauweißen, z. T. durchscheinenden Gallerten berichtet, welche sich in den Gasteiner Quellstollen auf dem vom Thermalwasser überrieselten Fels bei Temperaturen von 43,5 bis 45,5°C entwickeln. An dieser sich in Dunkelheit vollziehenden Bildung sind Mikroorganismen beteiligt. Wird der bis zu 1 cm dicke gallertige Belag entfernt, so erfolgt seine Wiederentstehung in 2 bis 3 Wochen. Im einzelnen ergab die Untersuchung:

1. Die Gallerte stellt ein Hydrogel mit einem Wassergehalt von im Mittel 93% dar und enthält neben organischer Substanz und amorphem elementaren Schwefel vor allem Kieselsäure und Aluminiumhydroxyd, ist also in mineralogischer Hinsicht als ein schwefelhältiges Allophan zu bezeichnen.

2. Dieses Allophan-Schwefel-Hydrogel erscheint bei schwacher mikroskopischer Vergrößerung aus kugelförmig wachsenden Gebilden zusammengesetzt, in welchen Mikroorganismen vorwiegend nahe der Oberfläche enthalten sind.

3. Bei starker Vergrößerung ist zu erkennen, daß unter den Mikroorganismen gekrümmte Stäbchenbakterien mit einer Länge von etwa 4 bis 5 μm und einer Dicke von rd. 0,4 bis 0,5 μm dominieren, welche stark lichtbrechende Tröpfchen eingeschlossen enthalten; diese bestehen aus amorphem elementaren Schwefel und können aus den Bakterienzellen austreten, zusammenfließen und kristallisieren. Die Stäbchen sind daher als Schwefelbakterien anzusehen und der Art *Thiobacterium bovista* (MOLISCH) JANKE zuzurechnen, welche analoge kugelförmig wachsende Kolonien bildet. Dieses Bakterium ist gramnegativ. Gewisse Anzeichen könnten dafür sprechen, daß bei den an Gasteiner Quellaustritten vorkommenden Schwefelbakterien eine Adaptation an die thermalen Bedingungen erfolgt ist.

4. Spärlicher finden sich in der Gallerte feine zellig unterteilte, eisenspeichernde Fäden von 0,2 bis 0,4 μm Dicke, die als *Leptothrix thermalis* (MOLISCH) DORFF angesehen werden, ferner nicht näher identifizierbare Kokken verschiedener Größe, weiters die

von VOUK bereits beschriebene *Gallionella scheminzkyi*, schließlich Einzelfäden von *Thiothrix tenuissima* WINOGRADSKY, unbeschalte Amoeben, ciliate Infusorien und Flagellaten.

5. Die nach dem Austreten der Schwefeltröpfchen aus den Bakterienzellen mit der Zeit einsetzende Kristallisation führt im Allophan-Schwefel-Hydrogel zu teilweise atypischen und z. T. mißgebildeten Schwefelkristallen. Es konnte wahrscheinlich gemacht werden, daß dafür die erschwerten und ungleichmäßigen Diffusionsbedingungen in der Gallerte verantwortlich sind.

6. Sulfatreduzierende Bakterien, welche die Bildung von Schwefelwasserstoff aus dem vorhandenen Sulfat bewirken könnten, ließen sich nicht nachweisen; es ist daher wahrscheinlich, daß der zweiwertige Schwefel einiger Austritte der Gasteiner Therme aus Kieseinlagerungen des Austrittsgesteines, einem Gneisgranit, entstammt.

7. Obwohl durch den annähernd gleich großen Gehalt an Kieselsäure und Aluminium alle Gasteiner Thermalwasseraustritte die Voraussetzungen für die Abscheidung eines Allophan-Hydrogels aufweisen würden, erfolgt dessen Bildung nur an jenen Austritten, welche zugleich auch Spuren von Schwefelwasserstoff führen und damit die Möglichkeit für die Entwicklung des *Thiobacterium bovista* bieten. Zwischen der Bakterienentwicklung und der Abscheidung des Hydrogels scheinen daher enge Beziehungen zu bestehen. Diese werden darin vermutet, daß für das Haftenbleiben des Allophan-Hydrogels am Fels die organische Gallerte der Kolonien des Thiobacteriums bovista von wesentlicher Bedeutung ist.

Literatur

(1) VOUK, V Die biologischen Besonderheiten der heißen Quellen von Gastein. Badgasteiner Badeblatt, 1953, Nr. 41/42.

(2) SCHEMINZKY, F. und E. MÜLLER: Uran und andere radioaktive Stoffe als Spurenelemente im Austrittsgebiet der Gasteiner Therme und die Quellabsätze aus diesem Thermalwasser. Sitzber. Österr. Ak. Wiss., Mathem.-natw. Kl., Abt. II, 168, 1959: 1.

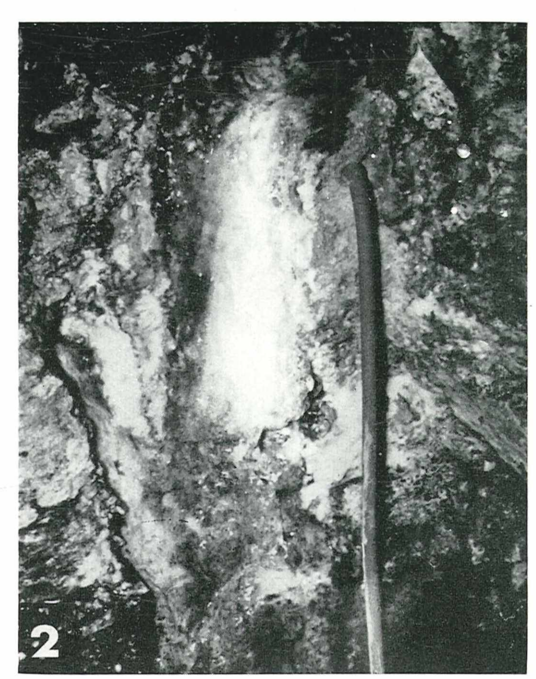
(3) Vgl. dazu MEIXNER, H.: Der Karinthin, Folge *13*, 12.

(4) VOUK, V.: Die Thermalalgen-Vegetation von Bad Gastein. Fund. balneo-bioclim. 1, 1959: 212.

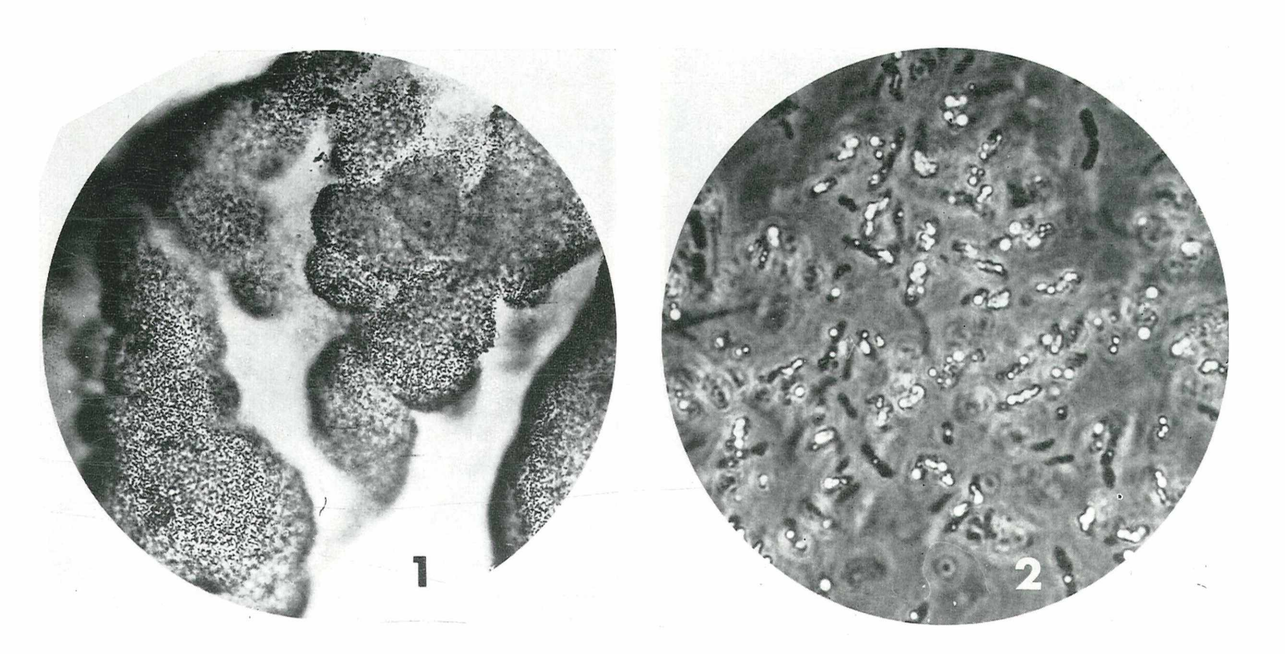
(5) VOUK, V.: Die Urblaualge in der Gasteiner Therme. Badgasteiner Badeblatt, 1959, Nr. 7.

(6) SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstitutes Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1961. Badgasteiner Badeblatt, 1962, Nr. 34/38.

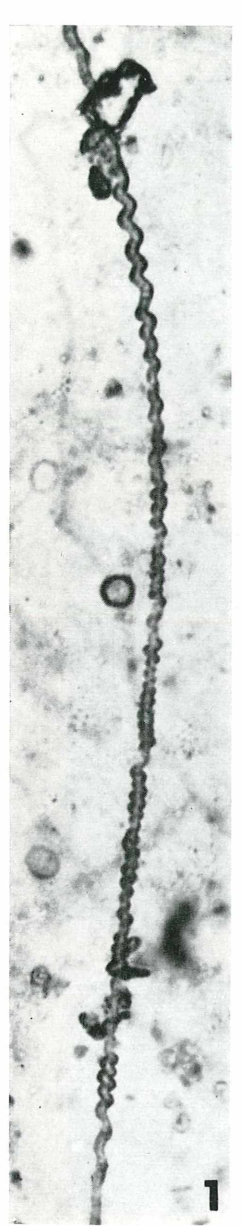
(7) KIENE, J.: Die warmen Quellen zu Gastein. Salzburg: F. X. Duyle'sche Buchhandlung, 1847.
(8) BARISANI, J.: Physikalisch-Chemische Untersuchung des berühmten Gasteiner Wildbades. Salzburg: Hochfürstl. Hof- u. akad. Waisenhausbuchhandlung, 1785.
(9) NIEDERHUBER, J.: Erläuterungen über den nützlichen Gebrauch des Gasteiner Wildbades. Salzburg: F. X. Duyle'sche Buchhandlung, 1792.
(10) DITTLER, E. und E. ABRAHAMCZIK: Über die mineralischen Absätze der Gasteiner Thermen. Zentralblatt f. Min. etc. Abt. A, 1938: 201.
(11) Diese Angabe findet sich nicht in (10), jedoch im Arbeitsbericht der beiden Autoren im Archiv des Forschungsinstitutes Gastein vom Jahre 1937.
(12) WINDISCHBAUER, A.: Die natürlichen Heilkräfte von Bad Gastein. Wien: Springer-Verlag, 1948.
(13) HACKL, O.: Chemisch-mikroskopische Prüfung auf höhere Manganoxyde. Fund. balneo-bioclim. 2, 1962: 54.
(14) VOUK, V.: Ein neues Eisenbakterium aus der Gattung Gallionella in den Thermalquellen von Bad Gastein. Arch. Mikrobiologie 36, 1960: 95.
(15) KAHAN, D. und M. LASMAN: Protozoa from the hots springs of Bad Gastein. Fund. balneo-bioclim. 3, 1966: 223.
(16) SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstitutes Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1963. Badgasteiner Badeblatt, 1964, Nr. 34/38.
(17) SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstitutes Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1964. Badgasteiner Badeblatt, 1965, Nr. 37/41.
(18) MOLISCH, H.: Neue farblose Schwefelbakterien. Centrbl. Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten, II. Abt. 33, 1912: 55.
(19) JANKE, A.: Allgemeine Technische Mikrobiologie, I. Teil: Die Mikroorganismen. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff, 1924.
(20) BERGEY'S Manual of Determinative Bacteriology, 7. Auflage. Baltimore: The Williams & Wilkins Company, 1957.
(21) BRUSSOFF, A.: Über ein Kieselbacterium. Arch. Mikrobiologie 4, 1933: 1.
(22) SCHEMINZKY, F.: Die Tätigkeit des Forschungsinstitutes Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1961. Badgasteiner Badeblatt, 1962, Nr. 34/38.
(23) MOLISCH, H.: Mikrochemie der Pflanze. Jena: Gustav Fischer, 1913.
(24) MÜNZEL, U.: Die Thermen von Baden. Eine balneographische Monographie. Baden (Schweiz): Selbstverlag, 1947.
(25) WALLHÄUSSER, K. H. und H. PUCHELT: Sulfatreduzierende Bakterien in Schwefel- und Grubenwässern Deutschlands und Österreichs. Contr. Mineral. and Petrol. 13, 1966: 12.

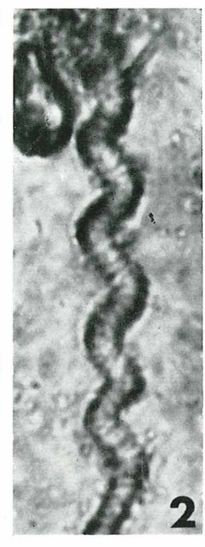


1: Austritt 14 im Stollen der Quelle I; bei A abgeschiedenes Allophan-Schwefel-Hydrogel, bei ME die seitlichen Begleitstreifen des Mangan-Eisen-Rasens. — 2: Allophan-Schwefel-Hydrogel beim Austritt 25 im Stollen der Quelle I.

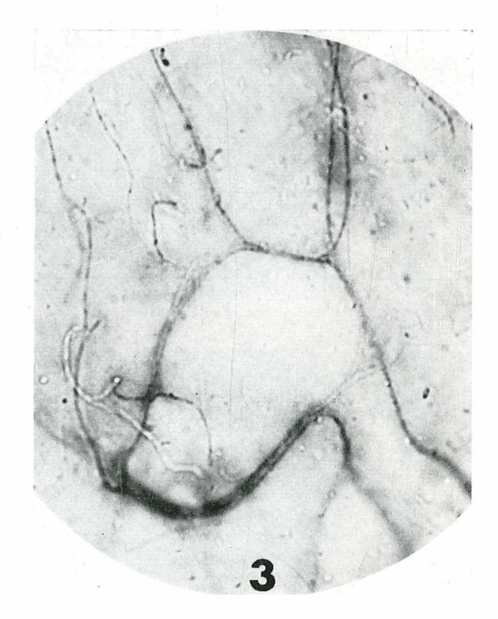


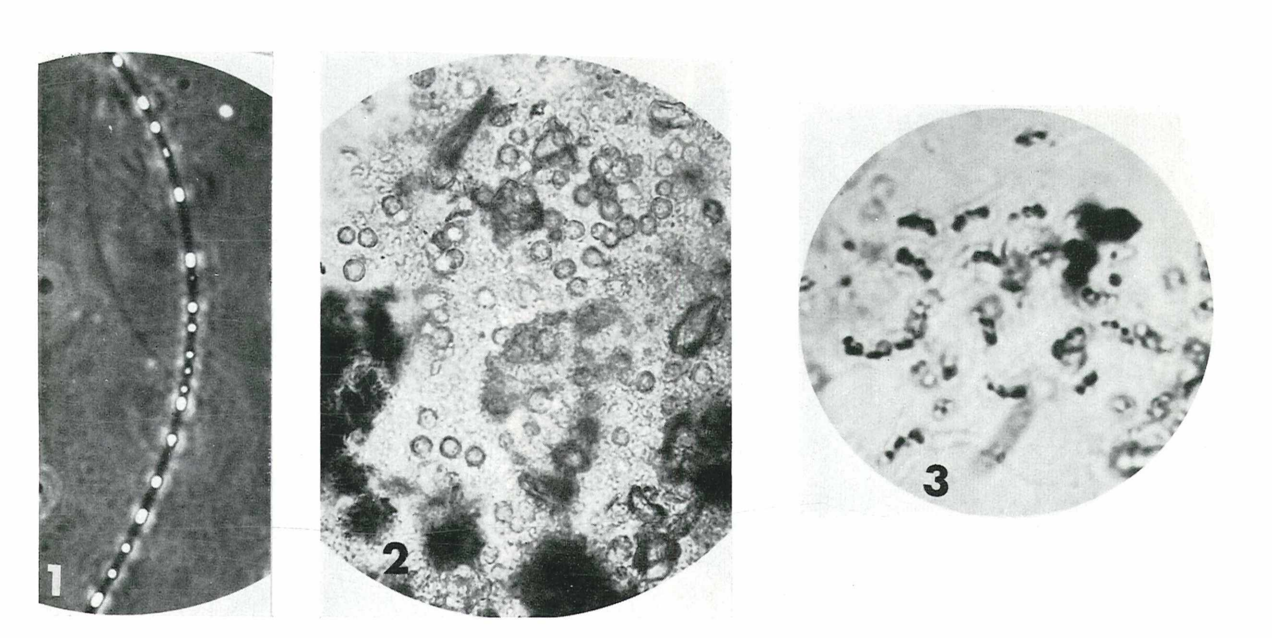
1: Allophan-Schwefel-Hydrogel vom Austritt I/27 in Auflichtbeleuchtung bei 110facher Vergrößerung; Aufbau des Hydrogels aus kugelförmig wachsenden Gebilden, in welchen oberflächennahe Mikroorganismen eingelagert sind. — 2: Zellen des Thiobacteriums bovista (Molisch) Janke in 1600facher Vergrößerung; in den Zellen und neben ihnen liegen die hell aufleuchtenden Tröpfchen aus amorphem Schwefel.



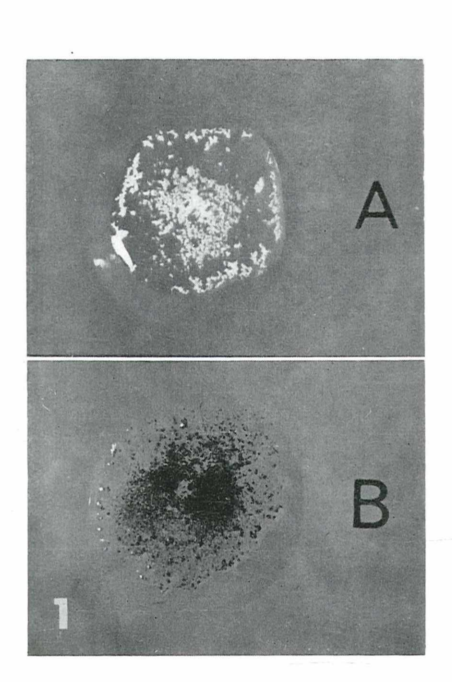


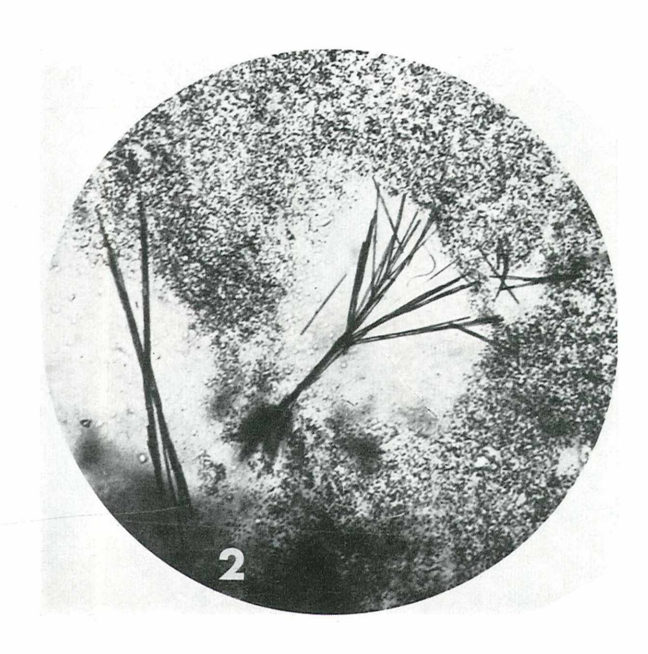
1: Gallionella scheminzkyi, 160fach. — 2: Der oberste Teil der nebenan dargestellten Gallionella, 1600 fach; die Wendelbildung des feinen Fadens ist unverkennbar. — 3: Feine, z. T. in Bündeln liegende, zellig unterteilte Fäden von Leptothrix thermalis mit Berlinerblau-Färbung, 640fach.



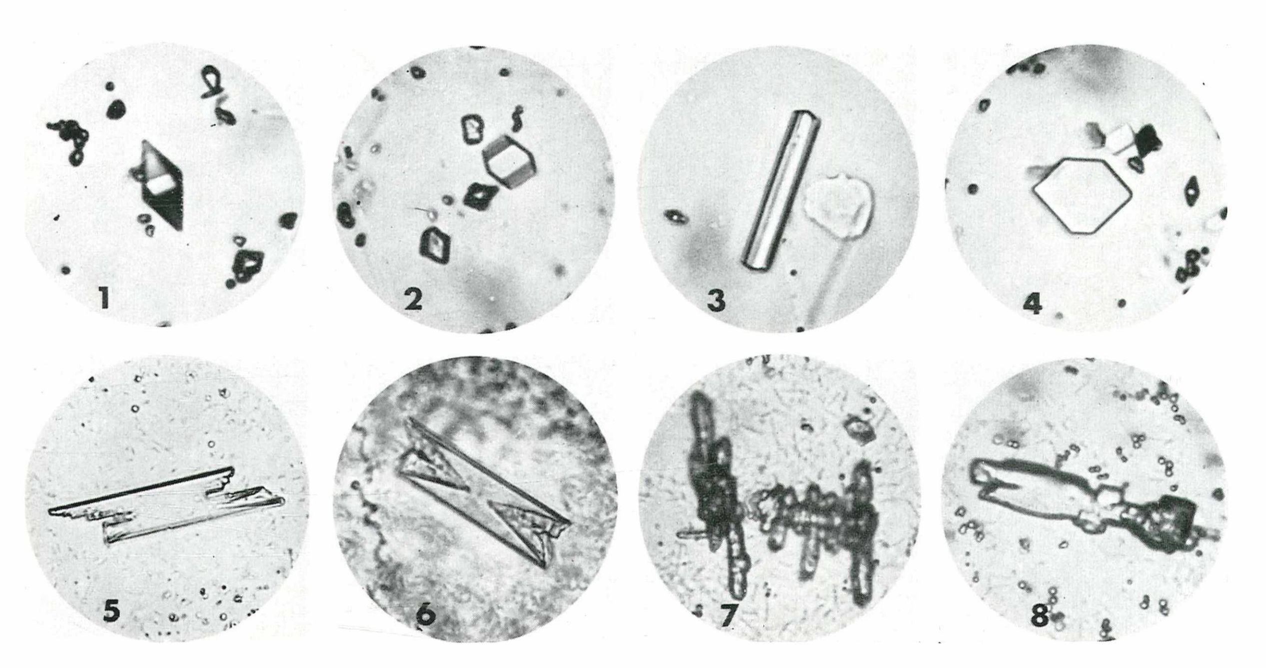


1: Faden von Thiothrix tenuissima, Austritt I/26, Phasenkontrast, 1600fach. — 2: Rundliche Gebilde tierischer Herkunft (enzystierte Protozoen?) vom Austritt I/12, 640fach. — 3: Schwarzfärbung der Schwefeltröpfchen von Thiobacterium bovista des Austrittes I/27a nach Einwirkung von Silbernitrat, 240fach.

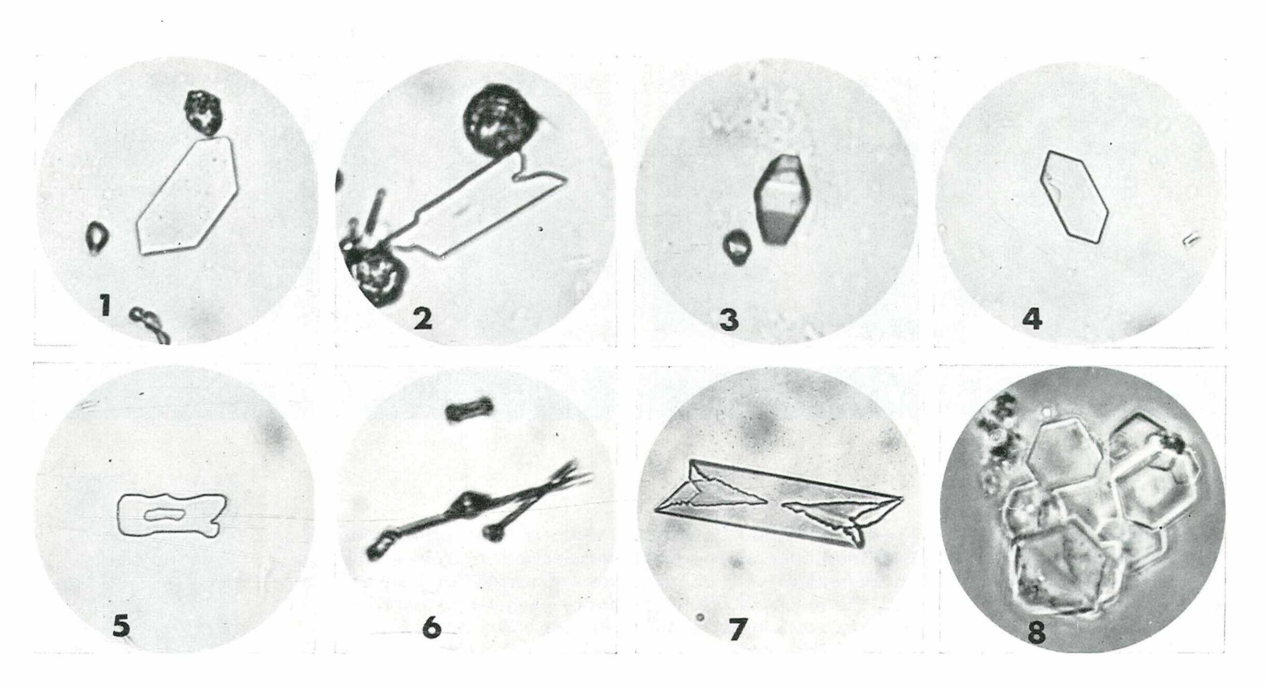




1: Schwefelblumen in einem Wassertropfen aufgeschwemmt, A unvorbehandelt, B nach Einwirkung von Silbernitrat. — 2: Kristallnadeln aus Schwefel in Kristallisationshöfen des Allophan-Schwefel-Hydrogels vom Austritt I/12; Vergrößerung 100fach.



1 bis 4: Die gewöhnlich zu beobachtenden Formen der Schwefelkristalle in Lagern von Schwefelbakterien (hier entstanden aus Lagern von Thiothrix-Fäden der Schwefelquelle von Susalitsch, Kärnten); Vergrößerung je 1008fach. — 5 bis 8: Die wichtigsten Typen der Schwefelkristalle im Allophan-Schwefel-Hydrogel (5 aus I/12, 600fach; 6 aus I/25, 640fach; 7 und 8 aus I/14, je 1008fach).



Erscheinungsformen von Schwefelkristallen: 1 und 2 aus Schwefelblumen nach Auflösung in Schwefelkohlenstoff und Verdunstenlassen, je 1008fach — 3 aus Allophan-Hydrogel von I/26 nach Extraktion mit Chloroform und Verdunstenlassen, 1008fach — 4 und 5 aus Allophan-Hydrogel von I/26 nach Extraktion mit Schwefelkohlenstoff und Verdunstenlassen, je 1008fach — 6 und 7 aus Schwefelblumen in künstlichen Gallerten (6 in Gelatine, 1134fach, 7 in Agar, 480fach) — 8 im Allophan-Hydrogel von I/14 + 16 nach Flußsäurebehandlung, 320fach.

1

K 1/1B 1/10 1/14 1/16 1/25



2

Prüfung auf sulfatreduzierende Bakterien (Desulfovibrio desulfuricans) im Gasteiner Thermalwasser. In die mit sterilisiertem Nährmedium gefüllten Testfläschchen nach Wallhäusser wurden je 1 ml Thermalwasser unter sterilen Bedingungen durch die als Deckel dienende Gummiplatte eingespritzt; Bebrütung 14 Tage bei 45° C. Bei Entwicklung sulfatreduzierender Bakterien sollte sich die Flüssigkeit durch die Bildung von Schwefeleisen schwarz färben, wie beim linken Fläschchen (2); eine solche Schwarzfärbung kam in der oberen Reihe (1) aber bei keiner Gasteiner Thermalwasserprobe zustande, die Fläschchen unterschieden sich nicht vom Kontroll-Testfläschchen (K); Desulfovibrio desulfuricans ist daher nicht vorhanden.